Lane Medical Library

Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität zu München.
Technische Abteilung. Vorstand: Professor Dr. Falck.

Über Formveränderungen des Modellwachses in Abhängigkeit von der Temperatur.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde

verfaßt

und einer Hohen Medizinischen Fakultät

der

Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Theo Besier

aus München.

München 1930

Druck der Salesianischen Offizin.

Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität zu München.
Technische Abteilung. Vorstand: Professor Dr. Falck.

Über Formveränderungen des Modellwachses in Abhängigkeit von der Temperatur.

Inaugural-Dissertation

zur
Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt
und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der
Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Theo Besier
aus München.

München 1930

Druck der Salesianischen Offizin.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153721_0245

INHALT.

I. Einleitung 5
II. Eigene Versuche 10
III. Schlußfolgerungen 32
Literatur 34
Lebenslauf 35

I. Einleitung.

Die Ungenauigkeiten, die beim zahnärztlichen Gußverfahren unterlaufen, beruhen zum Teil auf vermeidbaren technischen Fehlern, zum Teil aber auch auf einer durch Unkenntnis der Eigenschaften der dazu verwandten Materialien erfolgten falschen Behandlung von Wachs, Einbettungsmasse und Metall und schließlich sind sie notwendig bedingt durch solche Eigenschaften des Materials, auf die wir keinen Einfluß haben. Da die erste Phase des Verfahrens darin besteht, aus Wachs ein Modell des späteren Gußobjektes herzustellen, liegt naturgemäß in einer unsachgemäßen Verarbeitung dieses Modellwachses schon ein Fehler, der sich später irgendwo so auswirken muß, daß der fertige Guß nicht mehr dem Modell entspricht. Wenn dann noch Formveränderungen der Einbettungsmasse und solche durch das Schwindmaß des Metalls bedingte Größenunterschiede hinzukommen, dann summieren sich diese so, daß wir zuweilen mit verhältnismäßig großen Unstimmigkeiten rechnen müssen. Die moderne zahnärztliche Prothetik ist aber darauf angewiesen, die Fehlerquellen möglichst auszuschalten, um exakte Arbeiten herstellen zu können. Da nun der rein empirisch und handwerksmäßig hergestellte Guß zufälliger Weise einmal ein gutes Resultat ergeben kann, die bewußte Beeinflussung der Materialien aber die Kenntnis ihrer Eigenschaften und ihres Verhaltens voraussetzt, wurde mir die Aufgabe gestellt das Verhalten des Modellwachses zu untersuchen und zwar derjenigen Wachssorten, die wir in Deutschland hauptsächlich gebrauchen.

In verschiedenen Arbeiten über das Gußverfahren in der Zahnheilkunde wurden im Zusammenhang auch einzelne Untersuchungen am Wachs meist ausländischer Herkunft vorgenommen; für deutsche Präparate liegen keine Angaben vor.

Schon Price befaßte sich ausführlich mit den Eigenschaften des Wachses und auf seine Ergebnisse bauen die anderen Autoren zum Teil auf, zum Teil haben sie sie einfach übernommen. Seine Untersuchungen erstrecken sich sowohl auf die Ausdehnung, als auch auf die Elastizität des Wachses. Das Wachs weist selbstverständlich, wie jeder andere Körper auch, beim Erwärmen Ausdehnung, beim Abkühlen Zusammenziehung auf. Daß schon die geringsten Temperaturunterschiede verhältnismäßig große Formveränderungen hervorrufen, geht aus den Versuchen verschiedener Autoren hervor. Ich selbst konnte Ausdehnungen eines 4 cm langen Wachsstäbchens an dem später zu beschreibenden Apparat schon bei Erwärmung um Bruchteile eines Grades noch deutlich ablesen.

Die Elastizität des Wachses ist seine Fähigkeit bei Veränderung seiner Form, die ursprüngliche Gestalt teilweise oder ganz wieder anzunehmen. Auch darüber wurden Versuche von Price und Solbrig angestellt. Es wurden Wachsstäbe erweicht und in diesem Zustand gezogen und zusammengedrückt, abgekühlt und bei Wiedererwärmung die Entspannung beobachtet. Die Versuche sind beschrieben in der Arbeit von Oskar Solbrig: „Welche Faktoren bedingen die Formveränderungen im Gußverfahren"; ebenso in dem Werk von Smrecker: „Das Füllen der Zähne mit Goldeinlagen" und in dem neuerdings erschienenen Werk von Elander: „Das Gießen von Goldeinlagen." Ohrlein „Leitfaden der zahnärztlichen Gußtechnik" gibt lediglich die Ausführungen und Ansichten von Price und Solbrig wieder.—Elander beschreibt in seinem Buch ein ausführliches, teilweise von ihm ausgearbeitetes Gußverfahren und seine Ausführungen über das Wachs sind ziemlich umfangreich. Für seine Methode hält er das Wachs von Taggart für das geeignetste. Er schließt sich bezüglich der Eigenschaften des Wachses den Ansichten von Price so ziemlich an, weicht nur insofern davon ab, als er sagt, daß eine Wiederherstellung des Gleichgewichtes in dem, in eine Form eingepreßten Wachs nicht möglich wäre, indem man das Wachs nachträglich mit einem heißen Instrument schmilzt, während Price das für möglich hält. Ich schließe

mich auf Grund meiner Versuche hier der Ansicht Elanders an, jedoch bin ich an anderer Stelle nicht seiner Meinung. Er beschreibt einen Versuch, bei dem er in knöcherne Platten von 3 mm Stärke eine 27 mm lange Kerbe sägte, die an einem Ende 2 mm und am anderen 3 mm tief war. Nach Einfetten der Kerbe schmolz er tropfenweise Wachs in dieselbe. Jeden Tropfen ließ er erstarren, ehe er einen neuen applizierte. Sobald die Kerbe ausgefüllt war, wurden die drei freien Seiten in gleicher Ebene mit der Platte modelliert. War das Glätten vollendet, konnte man ohne Ausnahme beobachten, daß das Wachsstäbchen sich an dem schmäleren Ende von der Wand weg gezogen hatte und dort einen etwa 0,2 mm breiten Riß offen ließ. Dies trat ein, ob er nun mit der Wachsapplazierung an dem einen oder anderen Ende begann, oder abwechselnd an beiden Enden arbeitete, auch wenn er den Wachsstab durch Einpressen plastischen Wachses herstellte, das er nachher mit einem heißen Instrument schmolz.

Alle diese Arbeiten sprechen jedoch entweder von Gußwachs schlechthin, oder sie beschreiben ein bestimmtes Verfahren, das nur dann Gültigkeit hat, wenn man nicht nur eben gerade dieses Verfahren genau nachahmt, sondern auch nur die Materialien verwendet, die der betreffende Autor angibt. Es leuchtet ohne weiteres ein, daß von Gußwachs schlechthin nicht gesprochen werden kann, denn je nach der Zusammensetzung werden auch sein Verhalten und seine Eigenschaften verschieden sein und deshalb stimmen häufig die eigenen Resultate mit denen anderer nicht überein. Die Verwendung ganz bestimmter Wachssorten und die Anwendung eines ganz bestimmten Verfahrens ist aber häufig aus verschiedenen Gründen nicht möglich, deshalb erscheint es wünschenswert zu wissen, wie sich die gebräuchlichsten Wachssorten bei den verschiedensten Behandlungsmethoden verhalten, um eventuelle Fehlerquellen selbst entdecken zu können.

Zu dem oben erwähnten Versuch von Elander habe ich noch folgendes zu bemerken: es sind meiner Meinung nach sowohl bei einer tropfenweisen Wachsapplazierung, wobei

jeder Tropfen zwar erstarrt, aber nicht vollständig abgekühlt war, als noch vielmehr bei einem Eindrücken und darauffolgenden Schmelzen des Wachses mit einem heißen Instrument, nicht innere Spannungen, die eine Verkürzung herbeiführten, vielmehr kommt die Verkürzung durch die allmähliche Abkühlung des gesamten Stäbchens zustande. Die inneren Spannungen können sich nur dann auswirken, wenn eine Erwärmung des Stäbchens stattfindet und zwar werden sie allmählich mit der Erwärmung bis zur obersten Verarbeitungsgrenze frei. Langsam und gleichmäßig abgekühlt kann das Stäbchen praktisch als entspannt betrachtet werden.

Innere Spannungen, die dadurch entstehen, daß Wachs, das in eine Form gegossen wird, schneller erstarrt als es sich vollkommen zusammenziehen kann, werden bei Zimmertemperatur nicht wirksam. Beweis für diese Behauptung ist das Verhalten von den von mir gegossenen Stäbchen, die nach Wochen ihre inneren Spannungen bei den Versuchen noch genau so zeigten wie am Tag ihrer Herstellung, obwohl sie immer im gut geheizten Raum aufbewahrt wurden. Anders verhält es sich mit den inneren Spannungen, welche durch Deformationen von Wachsstäbchen in erstarrtem Zustand zustandekommen. In diesem Fall ist ein Zurückgehen in die ursprüngliche Form wenigstens teilweise der Fall. Ich habe bei meinen Biegungsversuchen festgestellt, daß Stäbchen, die bei 35° schwach deformiert wurden, schon nach wenigen Minuten teilweise oder ganz die ursprüngliche Form wieder annahmen. Aus meinen Expansions- und Kontraktionsversuchen sind deutlich zweierlei Kontraktionen ersichtlich, eine vom Schmelzpunkt bis zum Erstarrungspunkt und eine im erstarrten Zustand. Um nochmals auf das herzustellende Gleichgewicht der inneren Spannungen im Wachs zurückzukommen, muß ich einen Satz von Elander dahin abändern, daß ich sage: Die inneren Spannungen von geschmolzenem Wachs bleiben beim Erstarren des Wachses, nicht beim Erkalten, wie Elander sagt, nur dann im Gleichgewicht, wenn das Wachs von allen Seiten von einem gleichartigen und

gleicherwärmten Medium umgeben ist, in dem es die Möglichkeit hat, sich in allen Richtungen frei zusammenzuziehen. Ist das Wachs einmal erstarrt, gleichgültig ob mit oder ohne innere Spannungen, so wirken Kälte und Wärme zusammenziehend und ausdehnend auf das Wachs wie auf jeden anderen festen Körper. Eine innere Entspannung eines Wachses tritt erst ein bei einer Erwärmung des Wachses auf eine Temperatur, bei der es weich genug wird um seine inneren Spannungen wirksam werden zu lassen. Dies ist bei den verschiedenen Wachssorten eine verschiedene Temperatur. Ob diese mit der Temperatur der obersten Verarbeitungsgrenze identisch ist, möchte ich anzweifeln, es sei denn es würden für jede Wachssorte zwei oberste Verarbeitungsgrenzen festgesetzt, nämlich eine für das in eine Form gegossene und eine für das eingedrückte Wachs. Aus meinen Versuchen geht nämlich hervor, daß die gegossenen Wachsstäbchen sämtlicher Wachssorten Spannungen noch bis zu einer Erwärmung auf 53°C aufweisen, während die durch Eindrücken in die Form hergestellten Stäbchen teilweise unter 30°C schon entspannt waren. Über diesen Punkt ist in der Literatur nirgends etwas erwähnt, daher führe ich ihn etwas ausführlicher aus.

Die Zusammensetzung der einzelnen, von bestimmten Fabriken hergestellten Gußwachse sind nicht genau bekannt, da die Rezepte als Fabrikgeheimnis bewahrt werden. Im allgemeinen enthalten sie weißes oder gelbes Bienenwachs, Paraffin und Stearin mit geringen Zusätzen von Harz oder anderen Wachsarten wie Karnaubawachs, ferner werden Farbstoffe zugesetzt, die im allgemeinen das Produkt blau, grün oder schwarz färben. Das Bienenwachs gibt Plastizität, Paraffin Festigkeit und Stearin ermöglicht leichtere Bearbeitung mit scharfen Instrumenten.

Untersucht wurden die Wachse folgender Firmen:

1. Caulk
2. Harvard (Bödecker)
3. Herbst
4. Kerr
5. Mühlrath
6. S. S. White black
7. S. S. White green
8. Standart
9. Taggart
10. Zimmermann.

II. Eigene Versuche.

Bei obenstehenden zehn Gußwachsfabrikaten wurden folgende Eigenschaften festgestellt:

1. Erstarrungspunkte.
2. Verbrennungsrückstände.
3. Biegungsversuche an Wachsstäbchen:
   a) Beschreibung des Meßapparates und der Versuchsanordnung;
   b) Weichheit des Wachses;
   c) Elastizität des Wachses.
4. Die Expansion und Kontraktion von Wachsstäbchen zwischen 14 und 53°C.

Erstarrungspunkte. Ich hielt es für wichtig den Erstarrungspunkt des Wachses festzustellen, einmal um zu wissen, bis zu welcher Höchsttemperatur die Expansionsversuche ausgeführt werden konnten, ohne daß ein Schmelzen des Wachses eintrat; dann aber auch um Zusammenhänge der Erstarrungspunkte und der Plastizität des Wachses feststellen zu können.

Beschrieben wurde bis jetzt immer nur die Bestimmung des Schmelzpunktes; und die Methode, welche von den Autoren angegeben wird, ist folgende: Eine Glaskapillare wird mit zwei Gummiringen an einem Thermometer am unteren Ende befestigt. Die Kapillare ist mit dem Wachs, dessen Schmelzpunkt zu ermitteln ist, gefüllt. Thermometer mit Kapillare wird in einen Glaskolben mit kaltem Wasser gebracht. Das Wasser wird erwärmt und der Schmelzpunkt des Wachses am Thermometer abgelesen. Das Schmelzen des Wachses ist daran erkenntlich, daß es durchsichtig wird.

Abweichend von dieser Methode bin ich anders vorgegangen. Statt des Schmelzpunktes habe ich den Erstarrungspunkt des geschmolzenen Wachses festgestellt und zwar indem ich die Temperatur ablas, bei der ich das geschmolzene und langsam erkaltende Wachs mittels eines Holzstäbchens gerade nicht mehr umrühren konnte. Ich habe diese Methode gewählt, weil

wir in der Zahnheilkunde im allgemeinen unser Wachs auch nicht im heißen Wasser, sondern über der Flamme und am heißen Spatel schmelzen. Auch zu meinen Versuchen über Expansion konnte ich nur auf diese Weise bestimmte Schmelzpunkte gebrauchen, weil eine geringe Überhitzung der Wachsstäbe falsche Ergebnisse und damit auch Fehlschlüsse zur Folge gehabt hätte.

Die Erstarrungspunkte, die ich auf diese Weise festgestellt habe sind folgende:

Nr.	Wachs	Temperatur °C
1	Caulk	54,7
2	Harvard	59,6
3	Herbst	54,9
4	Kerr	55,9
5	Mühlrath	58,0
6	S. S. W. black	54,8
7	S. S. W. green	54,8
8	Standart	55,5
9	Taggart	58,5
10	Zimmermann	60,0

Die Unterschiede sind also verhältnismäßig gering, sie schwanken in den Werten von 54.7 bis 60°C, d. h. die Differenz zwischen den leicht- und schwerflüssigsten beträgt 5.3°C.

Verbrennungsrückstände.

Die Verbrennungsrückstände stellte ich fest wegen ihres Einflusses auf die Einbettungsmasse und auf den fertigen Guß. Je größer sie sind, desto poröser wird die Formwand der Einbettungsmasse, desto rauher die Oberfläche des Gusses, der dadurch auch Abweichungen vom Wachsmodell zeigt und einer längeren Nachbehandlung durch Schleifen und Polieren unterzogen werden muß.

Ich stellte die Verbrennungsrückstände auf folgende Art und Weise fest: Ein kleiner feuerfester Porzellantiegel wurde gereinigt und ausgeglüht. Nach dem Erkalten wurde er zusammen mit 5g Wachs auf einer Präzisionswage austariert. Das Wachs

wurde im Tiegel vorsichtig verbrannt und der Tiegel wiederum ausgeglüht. Nach Abkühlen wurde der Tiegel mit den Verbrennungsrückständen gewogen und nach Abzug des Tiegelgewichtes folgende Mengen von Rückständen. die auch in Prozent des verbrannten Wachses angegeben sind. gewogen.

Nr.	Wachs	Wachsmenge in g.	Rückstand in g.	Rückstand in %
1	Caulk	5	0,0018	0,036
2	Harvard	5	0,011	0,22
3	Herbst	5	0,0136	0,272
4	Kerr	5	0.0026	0.052
5	Mühlrath	5	0,0058	0,118
6	S. S. W. black	5	0,002	0,04
7	S. S. W. green	5	0,005	0,1
8	Standard	5	0,0028	0,056
9	Taggart	5	0,001	0,02
10	Zimmermann	5	0.013	0,26

Danach ist also der Unterschied der einzelnen Wachssorten bezüglich der Verbrennungsrückstände ziemlich beträchtlich. während Taggart und Caulk nur 0.02 bezw. 0.036% Rückstände ergeben. weisen Zimmermann und Herbst 0.26 bezw. 0.272% auf. d.h. eine Menge. die sich beim fertigen Guß als Oberflächenporosität sehr bemerkbar machen muß.

Biegungsversuche an Wachsstäbchen.

a) Beschreibung des Meßapparates und der Versuchsanordnung. Zur Ausführung der drei letzten Versuchsreihen fertigte ich mir einen besonderen Apparat an. den ich im folgenden beschreiben möchte.

Ein Aluminiumzeiger wurde auf einer Weckerunruhe befestigt und so ausbalanciert. daß er in jeder Lage stehen blieb. Auf einer Metallplatte als Unterlage wurde ein Messinggestell montiert. das die Lager für die Spitzen der Unruhenachse und eine Befestigungsstrebe für die Zeigerskala trug. An der Peripherie der Unruhe ist auf der rechten Seite 10 mm vom

Mittel der Unruhenachse entfernt ein wagrecht nach vorne stehendes Stäbchen angelötet und an dessen vorderem Ende hängt eine leichte Aluminiumwagschale. Diese ist wiederum durch ein Gegengewicht an der linken Seite der Unruhe so ausbalanciert, daß der Zeiger in jeder Lage an der Skala stehen bleibt. Nachdem der Zeiger eine Länge von 20 cm, gemessen vom Mittel der Unruhenachse bis zur Zeigerspitze hat und das Stäbchen 1 cm Abstand vom Mittel angebracht ist, so ist das Übersetzungsverhältnis gleich 1:20. Die Skala ist so angefertigt, daß hundertstel Millimeter Hebung oder Senkung der Wagschale direkt daran abgelesen werden können. In der Verbindung zwischen Stäbchen und Wagschale befindet sich eine Öse, welche genau das Profil des durchzusteckenden Wachsstäbchens hat. Dieses ruht links und rechts auf zwei auf der Grundplatte aufmontierten Messingstützen. Die beiden Stützen sind 39 mm voneinander entfernt. Das Gewicht von 1 g kann mittels eines Hebels, an dem es an einem Haar aufgehängt ist, aufgesetzt und aufgehoben werden. Der Hebel ist in der rechten Stütze gelagert und etwas geklemmt, damit er in jeder Lage feststeht und nicht gehalten werden muß.

Die Wachsstäbchen fertigte ich mir mittels einer Metallform an. Sie haben halbkreisförmigen nicht kreisförmigen Querschnitt, damit sie auf die Stützen links und rechts aufgelegt werden konnten und damit das Verhältnis der Oberfläche zum Inhalt ein größeres ist, was eine schnellere Durchwärmung ermöglicht. Die Länge beträgt 40 mm bei 3 mm Durchmesser. Von diesen Stäbchen fertigte ich mir von jeder Wachssorte zehn gegossene und zehn in die Form eingedrückte an. Die zum Teil erheblich differierenden Angaben über die Eigenschaften dieses oder jenes Wachses mögen wohl auf die von manchen Autoren bevorzugte Methode des Hineinschmelzens in die Form zurückzuführen sein, während andere ein Eindrücken oder Einpressen befürworten. Ich hielt es deshalb für angebracht meine Versuche so zu gestalten, daß sowohl eingegossenes als auch eingedrücktes Wachs bezüglich seines Verhaltens beobachtet werden konnte. Die Resultate werden

zeigen. daß tatsächlich beide Verarbeitungsmethoden Unterschiede des Enderfolges. d. h. des fertigen Gusses ergeben müssen. Wenn ein Stäbchen durch die Öse mit ebenfalls halbkreisförmiger Öffnung gesteckt und auf die beiden Stützen aufgelegt wurde. ruhte auf ihm keinerlei Belastung. weder nach oben. noch nach unten. Die Untersuchung der Wachsstäbchen führte ich zunächst bei Zimmertemperatur von 17—22° C mit einer Belastung von 20 g aus. Da jedoch die Zimmertemperatur niemals konstant blieb und die Messungen außerdem doch bei Temperaturen wie sie im Munde vorkommen. vorgenommen werden sollten. änderte ich den Apparat dahin ab. daß ich eine Glasglocke darüber stülpte. die ich an der Zimmerdecke über eine Rolle an einem Gegengewicht mittels einer Schnur so aufhängte. daß sie in jeder Lage über dem Apparat schwebend gehalten werden konnte. Diese Aufhängevorrichtung war nötig. da ein ständiges Auf- und Abheben der Glocke nicht möglich gewesen wäre wegen der Zuleitungsdrähte einer im Innern der Glocke aufgehängten Chromnickelspirale. die vom Strom durchflossen die Luft im Innern der Glocke regulierbar erwärmte. dadurch daß noch verschiedene Vorschaltwiderstände stufenweise eingeschaltet werden konnten. Die Stromstärke konnte zwischen 0 und 0.7 Amp. reguliert werden. Die Temperatur unter der Glocke konnte ich bis zu ca. 60° C steigern. Durch die Regulierwiderstände war es möglich. sowohl eine gleichmäßige. ganz langsame Temperatursteigerung und -Verminderung herzustellen. als auch die Temperatur auf einer bestimmten Höhe gleichmäßig zu erhalten. Zur Temperaturmessung war im Innern in Höhe des Wachsstäbchen ein Thermometer angebracht. An der rechten Seite der Glasglocke befand sich eine kleine Öffnung. durch welche der Hebel zum Aufsetzen und Abheben des Gewichtes herausschaute. so daß der Versuch von außen ausgeführt werden konnte. wenn das jeweils zu untersuchende Stäbchen genügend durchwärmt war. daß es die gleiche Temperatur hatte. wie sie das Termometer anzeigte.

Versuchsanordnung: Es wurde zunächst ein gegossenes Stäb-

chen in den Apparat eingebracht und die Glasglocke herabgezogen, dann wurde der Strom eingeschaltet und die Luft im Inneren langsam erwärmt. Dabei wurde die geringste Bewegung des Stäbchens an der Zeigerspitze verfolgt und folgende Beobachtung gemacht. Das Stäbchen bog sich in der Mitte nicht nach unten, sondern nach oben durch, zwar nur um einige hundertstel Millimeter, aber immerhin deutlich wahrnehmbar. Diese Durchbiegung kommt daher, daß die obere gekrümmte und daher größere Oberfläche dem Stäbchen oben Wärme schneller zuführt als an der unteren, kleineren, flachen Fläche. Eine schnellere Erwärmung oben bedingt auch eine schnellere Ausdehnung oben und somit ein Durchbiegen nach oben. — Bei 35° C wurde die Stromstärke so reguliert, daß sie konstant blieb. Schon nach wenigen Minuten zeigte sich eine vollkommene Durchwärmung des Stäbchens darin an, daß es seine ursprüngliche Form wieder annahm. Nach dieser Feststellung wurde die Zeigerstellung an der Skala abgelesen und notiert. Dann wurde das Gewicht von 1 g vorsichtig aufgesetzt und nach 30 Sekunden wieder abgehoben, dabei aber die Durchbiegung an der Skala abgelesen und notiert. Die Differenz der beiden abgelesenen Zahlen an der Skala ergab die Durchbiegung in hundertstel Millimeter. Das Stäbchen begann nun sich wieder zu strecken und es wurde so lange gewartet, bis keine Streckung mehr stattfand, und durch Ablesung an der Skala die Zahl in hundertstel Millimeter festgestellt, die an der Anfangsstellung fehlte. Die neue Stellung wich bei gegossenen Wachsen meist nur um wenige hundertstel Millimeter von der Anfangsstellung ab. Mit dieser Stellung als neuer Anfangsstellung wurde der Versuch wiederholt und nach Streckung des Stäbchens noch ein drittes Mal. Dies wurde gemacht um durch einen Mittelwert Fehler der Apparatur auszuschalten. Auf diese Weise wurden von jeder Wachssorte fünf gegossene und fünf eingepreßte Stäbchen untersucht und die Ergebnisse in Tabellen festgelegt. — Die Tabellen enthalten jeweils die Durchbiegungen in hundertstel Millimeter, die Differenz gegen die Anfangsstellungen, also die Strecke um die das Stäbchen nach

Streckung noch durchgebogen blieb in hundertstel Millimeter und die Belastungszeit, die zwar in der Regel 30 Sekunden war, bei manchen eingedrückten Wachssorten jedoch bis sogar auf 5 Sekunden herabgesetzt werden mußte, da sonst eine Ablesung nicht mehr auf der Skala gelegen wäre.

Da ich die Wiedergabe sämtlicher Tabellen für unzweckmäßig erachte, habe ich für jedes Wachs die Mittelwerte aus den Tabellen errechnet und gebe nur diese in folgender Tabelle wieder.

Nr.	Wachs	Durchbiegung in 100stel Millim.	Differenz gegen die Anfangsstellung 1 mm/1000
1	Caulk gegossen	49,5	10,2
	„ eingedrückt	109,4	41,0
2	Harvard geg.	8,8	1,4
	„ eingedr.	21,2	7,73
3	Herbst geg.	12,3	1,93
	„ eingedr.	171,0	70,0
4	Kerr geg.	17,5	4,0
	„ eingedr.	16,0	7,5
5	Mühlrath geg.	15,6	4,15
	„ eingedr.	149,0	60,40
6	S. S. W. black geg.	18,7	3,14
	„ eingedr.	19,6	6,54
7	S. S. W. green geg.	22,4	2,10
	„ eingedr.	36,3	12,5
8	Standart geg.	27,4	6,07
	„ eingedr.	41,1	14,5
9	Taggart geg.	10,8	1,27
	„ eingedr.	6,07	2,47
10	Zimmermann geg.	10,2	0,75
	„ eingedr.	169,0	75,00

Bei sämtlichen Versuchen betrug die Temperatur 35° C und die Belastung 1 g.

Aus diesen Durchbiegungsversuchen geht nun zweierlei hervor: einmal die Weichheit oder der Härtegrad der einzelnen Wachssorten bei 35°C. dann aber auch der Elastizitätsgrad bei dieser Temperatur: Diese beiden Punkte b) und c) sollen nun im folgenden besprochen werden.

b) Weichheit des Wachses: Die Weichheit oder auch Plastizität eines Wachsstäbchens bei einer bestimmten Temperatur bestimmt sich aus der Größe der Durchbiegung des Stäbchens bei einer Belastung aber immer nur für diese Temperatur. Ich hielt es für wichtig als Untersuchungstemperatur die von 35°C zu wählen, weil diese mit den Temperaturen, wie sie in der Mundhöhle vorkommen, übereinstimmen dürfte und es ist naturgemäß für uns wesentlich, die Eigenschaften bei dieser Temperatur kennen zu lernen.

Aus den Messungen in den Tabellen geht nun hervor, daß die verschiedenen Wachssorten bei 35°C auch ganz verschieden weich sind. Ein ganz prinzipieller Unterschied in Bezug auf die Weichheit besteht zwischen Wachsstäbchen, die in die Form eingegossen und solchen, die eingedrückt sind. Die eingedrückten Stäbchen sind meist die weicheren und zwar ist auch wieder der Unterschied bei den einzelnen Wachssorten ein sehr verschiedener. Ausnahmen jedoch bilden die Wachse von Taggart und Kerr. Bei diesen sind die gegossenen Stäbchen weicher als die eingedrückten. In folgender Tabelle sind die Wachse ihrer Weichheit nach angeordnet und zwar bei der härtesten Sorte angefangen. Die Verhältniszahlen sind auf das härteste Wachs, das als 1 gesetzt wurde, bezogen. Die gegossenen Wachse sind getrennt von den eingedrückten in den Tabellen angeführt.

Nr.	Wachs	Härtegrad	Belastungszeit in Sek.
Gegossenes Wachs			
1	Harvard	1.45	30
2	Zimmermann	1.68	30
3	Taggart	1.78	30
4	Herbst	2.02	30
5	Mühlrath	2.57	30
6	Kerr	2.88	30
7	S. S. W. black	3.08	30
8	S. S. W. green	3.69	30
9	Standart	4.51	30
10	Caulk	8.16	30
Eingedrücktes Wachs			
1	Taggart	1.00	30
2	Kerr	2.64	30
3	S. S. W. black	3.23	30
4	Harvard	3.49	30
5	S. S. W. green	5.98	30
6	Standart	6.77	30
7	Caulk	18.01	30
8	Zimmermann	Reihenfolge geschätzt 5—15	
9	Herbst		
10	Mühlrath		

Die Verhältniszahlen sind aus den Mittelwerten der Durchbiegungsmessungen der einzelnen Wachssorten errechnet. Die Zahlen für die eingedrückten Wachssorten 8. 9. und 10 konnten nicht errechnet werden, da die Stäbchen keine 30 Sekunden belastet werden konnten und daher ein Beziehen auf die anderen 30 Sekunden lang belasteten Stäbchen irreführende Ergebnisse zur Folge gehabt hätte. Die große Weichheit dieser

Wachse geht aus den Versuchen hervor; man kann ersehen, daß Durchbiegungen von 1 mm und weit darüber schon teilweise nach Belastungen in der Zeit von 5 Sekunden stattfanden.

c) Elastizität des Wachses: Das zweite, was aus den Biegungsversuchen hervorgeht, ist die Elastizität der einzelnen Wachssorten auch wieder bei der Temperatur von 35° C. Unter Elastizität verstehen wir, wie schon in der Einleitung erwähnt, die Fähigkeit eines Körpers, Formveränderungen, die ihm aufgezwungen werden nach Aufhebung der äußeren Kraft, teilweise oder ganz wieder auszugleichen. Ich hielt es für wichtig, diese Eigenschaft beim Wachs festzustellen und zwar auch wieder bei der Temperatur, wie wir sie in der Mundhöhle vorfinden. Wir verlangen von den Wachsen, die wir zur Herstellung von Modellen von Gußfüllungen verwenden, daß sie möglichst elastisch sind, damit sie imstande sind, kleine Deformationen, wie sie z. B. entstehen können beim Entfernen des Modells aus der Cavität möglichst wieder auszugleichen, nachdem sie aus der Cavität entfernt sind. — Eine Untersuchung dieser Eigenschaft bei mehreren Temperaturen würde zu weit geführt haben, und da praktisch für uns doch nur die Temperatur der Mundhöhle in Frage kommt, wurden die Versuche auch nur bei dieser ausgeführt. Ob eine Abhängigkeit der Elastizität von der Temperatur besteht, kann ich auf Grund eigener Versuche nicht sagen, doch ist sie wahrscheinlich sicher.

Der Elastizitätsgrad errechnet sich aus dem Verhältnis der Mittelwerte der gesamten Durchbiegung der Wachsstäbchen zum Mittelwert der noch vorhandenen Durchbiegung nach Streckung derselben. Da es sich um eine Verhältniszahl handelt, spielt die Länge der Stäbchen keine Rolle und kann unberücksichtigt gelassen werden.

Der besseren Übersicht wegen sind in folgender Tabelle die Werte für den Elastizitätsgrad der einzelnen Wachssorten angegeben und zwar der Reihenfolge ihrer Elastizität nach, angefangen mit dem elastischsten, sowie bezogen auf das

unelastischste, das gleich 1 gesetzt wurde. Die gegossenen und eingedrückten Wachse sind wiederum getrennt aufgeführt.

Nr.	Wachs	Elastzitäts-grad	Elastizitätsgrad bezogen a. d. unelastischste
gegossenes Wachs			
1	Zimmermann	13.6	6.35
2	S. S. W. green	10,65	4,97
3	Taggart	8.52	3,98
4	Herbst	6.38	2,99
5	Harvard	6.29	2.94
6	S. S. W. black	5.96	2.79
7	Caulk	4.85	2.27
8	Standart	4.51	2,15
9	Kerr	4.38	2,05
10	Mühlrath	3.78	1.77
eingedrücktes Wachs			
1	Zimmermann	7.8	3.64
2	Mühlrath	4.2	1.96
3	S. S. W. black	3.0	1,40
4	S. S. W. green	2.9	1.36
5	Standart	2.84	1.33
6	Harvard	2.74	1.28
7	Caulk	2.67	1,25
8	Herbst	2.59	1.21
9	Taggart	2,46	1,15
10	Kerr	2.14	1.00

Aus der Tabelle geht zunächst hervor, daß die gegossenen Wachse, mit Ausnahme von dem Mühlrathschen, das sich umgekehrt verhält wie alle anderen, alle elastischer sind als die gleichen eingedrückten Sorten, dann aber auch, daß die Reihenfolge eine andere ist.

Expansion und Kontraktion von Wachsstäbchen zwischen 14° und 53° C.

Die Expansion und Kontraktion des Wachses spielt bei der Verwendung in der Zahnheilkunde eine ganz bedeutende Rolle. Ist doch das Wachs, das z. B. zu einer Gußfüllung das Modell liefert, so ziemlich allen für uns wichtigen Temperaturen zwischen ca. 14° und seinem Schmelzpunkt ausgesetzt. Wenn wir uns den Werdegang einer Gußfüllung in Bezug auf die Temperaturen, denen der Reihenfolge nach das Wachs ausgesetzt ist, kurz vor Augen führen und aus den weiter unten gebrachten Kurven ersehen, welche großen Formveränderungen damit verbunden sind, werden wir die Wichtigkeit einer genauen Untersuchung dieser Eigenschaften unbedingt einsehen müssen.

Zur Bestimmung der Expansion und Kontraktion der verschiedenen Wachssorten, habe ich wiederum Wachsstäbchen angefertigt. Die Stäbchen hatten diesmal einen quadratischen Querschnitt von 3 mm Seitenlänge und die Stablänge betrug wiederum 40 mm. Ich wählte einen quadratischen Querschnitt, einmal wegen der symmetrischen Erwärmungsmöglichkeit, also um Verbiegungen nach einer Seite hin, wie es bei den Stäbchen mit halbkreisförmigem Querschnitt der Fall war, auszuschalten, dann aber auch um eine möglichst große Oberfläche im Verhältnis zum Volumen des Stäbchens zu erhalten, damit eine möglichst rasche und gleichmäßige Durchwärmung des gesamten Stäbchenvolumens stattfinden konnte; ein zylindrisches Stäbchen z. B. würde sich nicht so rasch erwärmt haben. Die Stäbchen wurden nun wiederum als gegossene und eingedrückte hergestellt. Die gegossenen Stäbchen wurden so hergestellt, daß das Wachs bis zum Schmelzpunkt und etwas darüber erhitzt wurde und in die Form, die beim ersten Stäbchen Zimmertemperatur hatte, bei allen weiteren Güssen infolge der vom Wachs abgegebenen Wärme eine Temperatur von 32° bis 40° C besaß, gegossen wurde. Ich hielt es für unwichtig, die Form auf eine genaue Temperatur vorher zu erwärmen, da die Temperaturunterschiede zwischen dem flüssigen Wachs und der Form so groß sind, daß eine Temperatur

der Form um nur wenige Grade höher oder tiefer für die späteren Messungen nicht in Betracht kommt. Die ersten gegossenen Stäbchen wurden zu den Messungen nicht verwendet, sodaß bei den weiteren Güssen eine gewisse Konstanz der Temperatur der Gußform vorhanden war. Anders verhielt es sich bei den eingedrückten Stäbchen. Bei diesen konnten genau die Verhältnisse, wie wir sie in der Mundhöhle haben, hergestellt werden, indem die Form auf ca. 35° C erwärmt wurde und das über der Flamme gut erweichte Wachs in diese eingedrückt wurde. Ich hielt dies hier für wichtig, da die Temperaturunterschiede zwischen erweichtem Wachs und Form nur ganz geringe sind, die zu Fehlern bei den Versuchen Anlaß hätten geben können.

Um nun die Expansions- und Kontraktionsversuche mit dem gleichen Apparat wie die Biegungsversuche ausführen zu können, habe ich diesen etwas umbauen müssen. Die Wagschale, sowie die Stützen für die Wachsstäbchen wurden entfernt, dafür wurde auf das runde Eisenstäbchen an der rechten Seite der Unruhe, an welchem vorher die Wagschale hing, eine zylinderförmige, genau über das Stäbchen passende 2 mm lange Hülse, an deren Außenfläche ein 5 mm langer Draht angelötet wurde, angefertigt. Der 5 mm lange Draht wurde in das jeweils zu untersuchende Wachsstäbchen, an dessen einer Basis etwa 0,5 mm tief eingeschmolzen, sodaß Stäbchen und Draht mit Hülse eine feste Einheit bildeten. Der Zeiger wurde wiederum so ausbalanciert, daß er, wenn die Hülse mit dem angelöteten Draht, ohne Wachsstäbchen natürlich, über das Eisenstäbchen geschoben war, gerade in jeder Lage stehen blieb. Das Wachsstäbchen wurde mittels der Hülse so in den Apparat eingebracht, daß der Zeiger senkrecht stand, also Unruhenachse und Eisenstäbchen in einer zur Grundplatte gedacht liegenden Parallelebene zu liegen kamen, so daß Fehler infolge eines Drehens der Unruhe bei Expansion und Kontraktion der Wachsstäbchen möglichst klein gehalten werden konnten. Praktisch kann die Drehung als eine Tangentialbewegung angesehen werden, da die größten

Abweichungen vom Mittel 0.5 mm nach oben und unten nicht übersteigen. Fehler, die etwa dadurch entstehen konnten, daß der gesamte, aus Metall bestehende Apparat bei den Temperaturschwankungen zwischen 14° und 53° C Formveränderungen erleidet, sind so gering, daß sie mit gutem Gewissen vernachläßigt werden konnten, außerdem sind sie auch immer die gleichen bei jeder Untersuchung eines anderen Wachses und schalten daher vollkommen aus. — Das Thermometer wurde so angebracht, daß es möglichst die gleiche Temperatur anzeigte, die auch das Stäbchen jeweils hatte.

Versuch: Nach Einbringung eines Stäbchens in den Apparat wurde dieses durch Öffnen des Fensters auf eine Temperatur von 14° C gebracht und die Zeigerstellung bei dieser Temperatur abgelesen und notiert. Dann wurde die Glasglocke über den ganzen Apparat gestülpt und mittels der stromdurchflossenen Chromnickelspirale die Luft im Innern der Glocke ganz langsam und gleichmäßig erwärmt. Jeder Versuch, der jeweils einen halben Tag dauerte, wurde so langsam ausgeführt, daß mit Sicherheit angenommen werden konnte, daß die Temperatur, die das Thermometer anzeigte, auch jeweils die des Stäbchens war. Es erfolgten nun Ablesungen an der Skala bei 15, 16, 18, 20, 22 etc. 46, 48, 50, 51, 52 und 53° C. Bei 53° wurde ausgeschaltet, da die Erstarrungstemperatur des Wachses teilweise nur um 1° höher lag und dadurch Ungenauigkeiten hätten unterlaufen können. Bei der nun erfolgten langsamen und sehr gleichmäßigen Abkühlung wurden die Ablesungen an der Skala bei den gleichen Temperaturen vorgenommen wie bei der Erwärmung. Als die Temperatur wieder bei 14° angelangt war, wurde der Versuch ohne das Stäbchen zu berühren noch einmal wiederholt. So wurden nun sämtliche Wachssorten, zuerst die gegossenen, dann die eingedrückten untersucht und die Werte in Tabellen festgelegt. Zur Veranschaulichung und genauen Erklärung des Verhaltens der einzelnen Wachssorten beim Versuch wurden an Hand der Tabellen graphische Darstellungen angefertigt und zwar wurde die Expansion und

Konstruktion in 100stel Millimeter als Funktion der Temperatur in °C aufgetragen. Für jede der zehn Wachssorten wurde ein Kurvenblatt angefertigt, auf welchem jeweils die Kurven für das gegossene und das eingedrückte Wachs gezeichnet sind.

Im folgenden gebe ich eine Beschreibung eines Kurvenblattes und zwar nehme ich gleich das erste mit dem Wachs von Caulk her.

Es fällt sofort der deutliche Unterschied der Bilder des gegossenen und des eingedrückten Wachses auf. Während das gegossene Stäbchen eine Ausdehnung bis zu 53° C ohne weiteres vertrug, mußte der Versuch bei dem eingedrückten Stäbchen schon bei ca. 34° C unterbrochen werden. Es fand bei dieser Temperatur keine Ausdehnung mehr statt, vielmehr wurde das Stäbchen schon so weich, daß es nicht mehr in der Lage war, sein eigenes Gewicht zu tragen und anfing in sich zusammenzusinken. Die Unterbrechung des Versuches fand statt, damit die Kontraktionskurve aufgenommen werden konnte. Was den Verlauf der Ausdehnung beim eingedrückten Wachs anbetrifft, so sehen wir in Kurve I zunächst eine vollkommen gleichmäßige Ausdehnung, die bei ca. 25° etwas abnimmt, dann aber wieder eine ganz allmähliche Steigerung erfährt. Bei ca. 32° jedoch tritt bereits eine Ermüdung ein und bei ca. 34° ist das Ausdehnungsmaximum erreicht. Hier hätte der Versuch unterbrochen werden sollen, was jedoch nicht gelang und auch unwesentlich ist, da aus der Kurve das Maximum ganz deutlich abgelesen werden kann. Mit Hilfe einer Parallelen (gestrichelte Linie) zur Kontraktionskurve II durch den Scheitel der Kurve I kann deutlich der Verlauf der Kurve II gezeigt werden, den sie genommen hätte, wenn die Unterbrechung des Versuches rechtzeitig erfolgt wäre. Die Kontraktion verlief zunächst vollkommen gleichmäßig, was dadurch zum Ausdruck kommt, daß die Kurve geradlinigen Verlauf zeigt. Bei ca. 25° C tritt eine Krümmung ein, wodurch angezeigt wird, daß eine allmähliche Abnahme der Kontraktion hier statthat, bis nach der Krümmung bei ca. 20° der Übergang in eine Gerade wieder

für Gleichmäßigkeit der Zusammenziehung spricht. Der Ordinatenabschnitt zwischen der Kurve I und der gestrichelten Linie gibt die Entspannung des Wachsstäbchens wieder. Sie beträgt hier ca. 6/100 mm, was eine Verkürzung des Stäbchens während des Versuchs um diesen Betrag ausdrückt. Unabhängig von der Länge des Stäbchens kann der Betrag mit 0,15% angegeben werden. Dieser verhältnismäßig kleine Wert zeigt, daß die inneren Spannungen im eingedrückten Wachs nur ganz geringe sind, die Ausdehnung lediglich ein Beweis dafür ist, daß sich eben Wachs wie jeder andere Körper bei Erwärmung ausdehnt und bei Abkühlung zusammenzieht. Der Verlauf der Kurven ist für jedes Wachs ein ganz charakteristischer und hängt von der Zusammensetzung der einzelnen Wachssorten ab. Noch zu erwähnen ist die geringe Gesamtausdehnung des eingedrückten Stäbchens im Verhältnis zum gegossenen. Während beim eingedrückten Wachs die gesamte Ausdehnung bis 34°C nur 16/100 mm. also 0.4% der Länge des Stäbchens beträgt, können wir beim gegossenen Wachs bei der gleichen Temperatur schon 31/100 mm also rund 0,8% ablesen. Das ist also genau die doppelte Ausdehnung. Woher rührt nun hier diese bedeutend stärkere Expansion? Ich erkläre mir diese Erscheinung so, daß durch das Eindrücken des Wachses in die Form eine Verschiebung der Moleküle im Wachs statthat, durch welche es an Expansionskraft bedeutend verliert. Daß die größere Expansionskraft des gegossenen Wachses nicht von denen ihm innewohnenden inneren Spannungen herrührt, geht daraus hervor, daß nach Entspannung des Wachses (Kurve I schwarz und II grün) bei der Wiederholung des Versuchs das Stäbchen genau die gleiche Expansionskraft zeigt (Kurve III rot) wie beim ersten Versuch I. Es muß also unbedingt durch das Eindrücken an Expansionskraft verlieren. Der Verlust ist allerdings bei den einzelnen Wachssorten ein sehr verschiedener, bei manchen sogar verschwindend klein.—Über den Verlauf der Expansion und Kontraktion des gegossenen Wachses auf Kurvenblatt I ist noch zu bemerken: Zu Beginn des ersten Versuches (schwarze Kurve) ist die Expansionskraft verhält-

nismäßig gering, nimmt aber schnell zu, ist zwischen 30° und 38° ziemlich gleichmäßig, um von da ab ganz allmählich abzunehmen und wieder gleichmäßig zu werden bis zum Schmelzpunkt. Der Versuch wurde jedoch bei 53° C abgebrochen, da sonst die Kontraktionskurve nicht hätte aufgenommen werden können. Diese hat nun einen ganz merkwürdigen Verlauf insofern, als bei einer Temperatur von ca. 42° eine plötzlichere Kontraktion des Wachses eintritt, die aber schon bei ca. 40° wieder nachläßt und derjenigen, die über 42° statthatte, sich wieder angleicht. Wir sehen von da ab einen fast geradlinigen Verlauf der Kurve, also sehr gleichmäßige Kontraktion bis zu etwa 24°, wo eine rasche Abnahme einsetzt, die bei 14° schon fast 0 ist, was aus dem beinahe horizontalen Verlauf der Kurve an dieser Stelle hervorgeht (eine Parallele zur Abszisse bedeutet, daß die Expansion oder Kontraktion = 0 ist.).

Hier setzt der zweite Versuch ein, der eigentlich als Kontrollversuch für den ersten ausgeführt wurde und in der Tat sehen wir, daß sowohl die Kurven I und III als auch II und IV einen ganz ähnlichen Verlauf zeigen, was für die Genauigkeit der Ausführung der Versuche ein Beweis ist. Was können wir nun alles aus diesen vier Kurven ablesen? Zunächst dehnt sich das Stäbchen durch die Erwärmung ganz wenig aus, je höher aber die Temperatur steigt, desto weicher wird das Stäbchen und desto wirksamer werden seine inneren Spannungen. Die Kurve wird immer steiler, bis ein Ruhestand und schließlich ein Ermüdungszustand eintritt, doch neuerdings auftretende Kräfte vermögen den Ermüdungszustand wieder aufzuheben und eine weitere gleichmäßige Ausdehnung fortzuführen. Wir sehen also, daß das Wachs, das einer Erwärmung ausgesetzt ist, sich nicht ganz gleichmäßig, sondern je nach dem Wärmegrad langsamer oder plötzlicher ausdehnt. Andere Wachssorten zeigen teils dieselbe, teils ganz abweichende Eigenschaften. Das gleiche gilt auch für die Zusammenziehung; doch tritt hier eine weitere Erscheinung auf. Das Wachs zieht sich nämlich viel weiter zusammen als es zu Beginn des Versuches zusammengezogen war. Das Stäbchen wird also kürzer als

vorher und diese Verkürzung ist an der Ordinatenachse als das Stück zwischen Kurve I und II direkt in hundertstel Millimeter abzulesen. Sie beträgt in diesem Fall 19/100 mm, also ca. 0,5% der Länge des Stäbchens. Woher kommt nun diese Verkürzung?—Das in die Metallform gegossene Wachs konnte sich nicht so schnell zusammenziehen, wie es erstarrte, d. h. es hätte sich noch weiter zusammengezogen, wenn es nicht so schnell auf eine Temperatur gebracht worden wäre, bei der diese Kontraktion nicht mehr stattfinden konnte. Es waren also dann in dem Stäbchen innere Spannungen aufgespeichert, die das Bestreben hatten, das Stäbchen weiter zu verkürzen. Dies war aber nur möglich, wenn eine Erwärmung des Stäbchens auf eine Temperatur dicht unter dem Erstarrungspunkt, bei der es weich genug wird, sich vollkommen entspannen zu können, stattfindet. Damit nun bei der Abkühlung die Spannungen nicht wieder auftreten, muß diese ganz langsam und gleichmäßig vor sich gehen, was bei den Versuchen der Fall war. Das Stück auf der Ordinatenachse stellt also direkt die Entspannung des Wachsstäbchens dar.—Warum aber dehnt sich beim zweiten Versuch das Wachsstäbchen nicht wieder genau so weit aus wie beim ersten? Ich erkläre mir das so, daß durch die zweimalige starke Ausdehnung eine gewisse Ermüdung des Materials eintritt, sodaß eine so starke Expansion nicht mehr zustande kommen konnte. Dafür spräche vor allen Dingen der äußerst gleichmäßige Verlauf der roten Kurve, die annähernd eine gerade Linie ist.—Bei der zweiten Abkühlung findet eine weitere Entspannung nur in ganz geringem Maße statt. Sie beträgt hier nur 0,05%.

Bei weiteren Wiederholungen des Versuches vollzieht sich der Verlauf der Kurven ungefähr nach Kurve IV. Die Wiederholungen sind jedoch überflüssig, da in der Praxis auch nur eine zweimalige Ausdehnung des Wachses vorkommt, einmal beim Einbringen desselben in die Cavität und dann beim Einbetten. Auch wird das Wachs hierbei nicht mehr bis auf Temperaturen, die knapp unter dem Erstarrungspunkt liegen, erwärmt.

Im folgenden werden noch die hauptsächlichsten Eigentümlichkeiten der anderen Wachssorten an Hand der Kurven durchgesprochen.—So sehen wir gleich auf Kurvenblatt II bei dem Boedeckerwachs der Firma Harvard einen ganz eigenartigen Verlauf der Expansionskurve des eingedrückten Wachses. Bei ca. 26° C scheint plötzlich die Expansion vollständig aufzuhören, um jedoch bei ca. 33° wieder einzusetzen. Um einen Versuchsfehler kann es sich nicht handeln, denn bei weiteren Versuchen mit anderen Stäbchen des gleichen Wachses zeigte sich jedesmal auch die gleiche Eigenschaft. Woher kommt nun dieses sonderbare Verhalten? Ich denke mir die Sache so, daß die einzelnen Bestandteile des Wachses, die ja untereinander verschiedene Eigenschaften haben, bei verschiedenen Temperaturen verschieden großes Ausdehnungsbestreben zeigen. Es nimmt also z. B. die Expansionskraft der Summe einzelner Komponenten des Wachses bei 26° schon stark ab, während die Summe anderer Bestandteile erst bei 33° ein Expansionsbestreben zeigt. Ja, dann müßte aber bei dem gegossenen Wachs diese Erscheinung doch auch auftreten! Das tut sie ja auch: wenn wir genau hinsehen bemerken wir, daß sowohl Kurve I als auch III in ganz schwachem Maßstab den gleichen Verlauf zeigen, also eine geringe Abnahme der Expansionskraft bei ca. 26° mit darauffolgender Zunahme bei ca. 33°. Daß hier die Abweichungen nicht so stark sind wie bei dem eingedrückten Wachs, kommt wohl daher, daß durch die innige Verschmelzung der Komponenten deren einzelne Eigenschaften nicht so deutlich sich auswirken können.

Auf jeden Fall sehen wir hier wieder, welche gewaltigen Unterschiede zwischen den Eigenschaften des gegossenen und des eingedrückten Wachses bestehen.

Es wäre zu diesem Wachs noch zu bemerken, daß es in eingedrücktem Zustand das einzige ist, das sich über 40° hinaus noch ausdehnen läßt, während alle anderen Sorten schon bei 29—34° zusammensinken. Vom gegossenen Wachs wäre noch zu sagen, daß die Gesamtexpansion zwischen 14° und 53° ver-

hältnismäßig gering ist, innere Spannungen jedoch mit 0.35% wieder verhältnismäßig groß sind.

Das Herbstsche Wachs auf Kurvenblatt III zeigt im eingedrückten Zustand ein sehr großes Ausdehnungsvermögen; auch im gegossenen Zustand ist es dasjenige mit der größten Expansion. Das Stäbchen verlängert sich fast um 1.0 mm, während die Kontraktion sogar 102/100 mm also 1.02 mm beträgt. Dagegen ist merkwürdiger Weise die innere Spannung äußerst klein. Mit 0.175% die weitaus kleinste aller Wachssorten. Zu erwähnen ist außerdem noch, daß der Abstand zwischen grüner und blauer Kurve bei 53° ganz bedeutend größer ist als bei 14°, also umgekehrt wie bei den beiden ersten Wachssorten.

Die gleiche Eigenschaft, wenn auch nicht in so ausgeprägtem Maße, zeigen ebenfalls noch die Wachse auf den Kurvenblättern IV, V, VII und VIII. Das ist jedoch keine Merkwürdigkeit, sondern lediglich ein Ausdruck dafür, daß das betreffende Wachs bei 14° eine stärkere Kontraktion als diese eben nicht zuläßt. Auf etwas anderes könnte jedoch daraus geschlossen werden. Es bestünde die Möglichkeit, daß beim Wiederholungsversuch (Kurve III) die Expansion deshalb nicht mehr so groß ist wie beim ersten Versuch, weil das Stäbchen bei der hohen Temperatur doch so weich wird, daß es etwas in sich zusammensinkt. Diese Annahme wäre nach Vorangegangenem falsch, denn, wenn das Stäbchen in sich zusammensinkt, wird es damit ein ganz anderes, um dieses Stück kürzeres Stäbchen. Es müßte also diese Verkürzung bei 14° sich unbedingt darin zeigen, daß der Abstand zwischen grüner und blauer Kurve dort immer etwas größer wäre, als bei 53°.—An dieser Stelle möchte ich noch eine Eigentümlichkeit im Verlauf der Kurven besprechen. Woher kommt es, daß bei manchen Wachsen im gegossenen Zustand bei den höheren Temperaturen die grüne Kurve oberhalb der schwarzen, bei manchen unterhalb verläuft? Ein Verlauf von II über III sagt aus, daß es dem Wachs mit seiner Zusammenziehung nicht sonderlich eilt, daß also auch keine besonders großen Kräfte ihm bei der Kontraktion behilflich sind. In der Tat bemerken wir, wenn wir die Kurven

der Reihe nach anschauen. daß diejenigen mit den kleinsten inneren Spannungen in ihrer Kontraktion am langweiligsten sind. Ein Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme. also daß die Kontraktionsgeschwindigkeit nur von der Größe der inneren Spannungen. die also das Bestreben haben. das Stäbchen möglichst rasch zusammenzuziehen. abhängt. ist die Tatsache. daß beim Wiederholungsversuch. wo also das Stäbchen keine inneren Spannungen mehr besitzt. bei sämtlichen Wachssorten eine Trägheit in der Kontraktion statthat. was daraus hervorgeht. daß immer, bei den höheren Temperaturen natürlich. die blaue Kurve oberhalb der roten verläuft.—Auch das Taggartwachs auf Kurvenblatt IX. das hierin eine Ausnahme zu machen scheint. zeigt die gleiche Eigenschaft. wenn auch erst bei einer etwas tiefer liegenden Temperatur als die anderen Wachsarten.—Das gegossene Wachs von Kerr auf Kurvenblatt IV zeigt von allen Wachssorten die größten inneren Spannungen: sie betragen hier 0.75% der Stablänge: das eingedrückte ist zusammen mit dem von Standart auf Kurvenblatt IX dasjenige. welches schon bei ca. 29° in sich zusammensank. Kerr und Standart haben auch in gegossenem Zustand ziemlich gleiche Expansions- und Kontraktionsverhältnisse.—Die Wachse von Mühlrath Kurvenblatt V und von Zimmermann Kurvenblatt X zeigen so ziemlich die gleichen Eigenschaften wie das Wachs von Herbst Kurvenblatt III. Sehr starke Expansion. sowohl beim eingedrückten. als auch beim gegossenen Wachs. dagegen verhältnismäßig kleine innere Spannungen. die bei Mühlrath 0.25% bei Zimmermann 0.30% der Stablänge betragen. Wieso kommt es nun. daß gerade diese drei Wachssorten bei ihren großen Ausdehnungsschwankungen nur so kleine innere Spannungen aufweisen? Ich erkläre mir den Vorgang folgendermaßen: beim Gießen der Stäbchen dieser drei Wachssorten hatte ich die Bemerkung gemacht. daß sie aus der Form von selbst herausfielen. also kleiner als die Form geworden waren. während alle übrigen Wachssorten die Größe der Form beibehielten und nicht so ganz leicht herausgingen. Damit kann ich das Auftreten viel kleinerer. innerer Spannungen in diesem Stäb-

chen wie folgt begründen: Durch die Eigenschaft der verhältnismäßig sehr großen Kontraktion beim Abkühlen zog sich das in die Form gegossene Wachs sehr schnell zusammen und damit von der Formwand ab. Es konnte also in diesen drei Fällen eine gleichmäßigere Abkühlung, vielleicht sogar Erstarrung, wenigstens des Kerns des Stäbchens erfolgen, als bei allen anderen Wachssorten, dadurch, daß eine direkte Berührung mit der kälteren Formwand nicht mehr stattfand. Durch diese bedeutend langsamere Erstarrung konnte ein Herabsetzen der inneren Spannungen erfolgen und den Beweis dafür haben wir in den Kurven vor uns.—Bei dem Versuch mit dem eingedrückten Mühlrathschen Wachs, das übrigens die größte Expansion aller eingedrückten Wachssorten zeigt, gelang es den Expansionsversuch genau vor dem Zusammensinken des Stäbchens zu unterbrechen. Sehr große innere Spannungen zeigen die Wachse von S. S. W., die bei black 0,55% bei green 0,675% der Stäbchenlänge betragen. Bei green ist eine starke, plötzliche Expansion nochmals bei ca. 50° zu bemerken, die bei black nicht so deutlich zum Ausdruck kommt, jedoch angedeutet ist.—Das Wachs von Standart wurde weiter oben schon angeführt, seine innere Spannung beträgt 0,45% der Stäbchenlänge.—Das Wachs von Taggart zeigt eine verhältnismäßig kleine Gesamtexpansion, seine innere Spannung beträgt 0.35% der Stablänge. Das eingedrückte Stäbchen war spannungslos. Diese Eigentümlichkeit hat nur das Taggartsche Wachs und ist das für uns von großer Wichtigkeit, da hierdurch eine Formveränderung durch Temperaturveränderungen um einen gewissen Prozentsatz herabgesetzt wird, und für uns nur noch ein Faktor bei der Formveränderung in Frage kommt. Wenn auch bei allen anderen eingedrückten Wachssorten die innere Spannung nur minimal ist, so kommt sie bei Taggart doch ganz in Wegfall.

Die umfangreichen Tabellen, die zur Herstellung der Kurven notwendig waren, hier wiederzugeben, würde zu weit führen. Die Kurvenblätter sind in der Originalarbeit einzusehen.

III. Schlußfolgerungen.

Aus der Arbeit geht hervor:

Die Erstarrungspunkte der einzelnen Wachse, die, wie schon erwähnt, sich in verhältnismäßig engen Grenzen bewegen, stehen zu der Plastizität des Wachses so gut wie in gar keinem Verhältnis; so hat z. B. das eingedrückte Zimmermann-Wachs, als eines der weichsten, den höchsten Erstarrungspunkt.

Größer dagegen sind die Unterschiede bei den Verbrennungsrückständen. Sie betragen bei manchen Wachssorten das Zehnfache anderer. Nachdem aber ein Guß von der Größe der Verbrennungsrückstände stark abhängig ist, wird man zu Gußzwecken diejenigen Wachssorten mit den geringsten Verbrennungsrückständen am vorteilhaftesten verwenden. Taggart's Wachs stellt mit 0.02% das Minimum an Verbrennungsrückständen dar.

Die Weichheit eines Wachses ist, je größer sie ist, um so ungünstiger für die Bearbeitung bei der Herstellung von Modellen in der Mundhöhle. Je weicher das Wachs, desto schlechter läßt es sich schaben, desto leichter ist es Formveränderungen ausgesetzt. Die Unterschiede der gegossenen und eingedrückten Wachssorten in Bezug auf die Weichheit sind nun verschieden und man wird z. B. zur Herstellung eines gegossenen Wachsmodells das Boedeckersche, eines eingedrückten das Taggartsche Wachs vorziehen. — Die härteren Wachssorten haben natürlich den weicheren gegenüber den Nachteil, daß ein Eindrücken in die Cavität eben wegen der Härte bedeutend schwieriger ist, als bei den weicheren. Man wird daher, wenn man nicht besonders darauf eingerichtet ist, für diesen Zweck ein Wachs mittlerer Härte verwenden.

Die Elastizität des Wachses kommt, wie schon früher erwähnt, in Frage, wenn es Formveränderungen, die von außen darauf eingewirkt haben, wieder ausgleichen soll, also bei Gußfüllungen; während zum Modellieren von Kronen und Brückenteilen diese Eigenschaft keine Rolle spielt.

Die Expansions- und Kontraktionsversuche zeigen uns zunächst einen gewaltigen Unterschied zwischen dem Verhalten von gegossenem und eingedrücktem Wachs, dann aber auch einen Unterschied des Verhaltens der einzelnen Wachse untereinander. Es ist selbstverständlich, daß wir zu all unseren Gußarbeiten immer Wachse aussuchen werden, die bei Temperaturunterschieden, zumal in den Grenzen von 14—35° möglichst kleine Formveränderungen erleiden. Und wiederum werden wir bei diesen Wachsarten die Verarbeitungsweise (gegossen oder eingedrückt) wählen, bei der dies der Fall ist. Da nun die Wachse in eingedrücktem Zustand alle bedeutend kleinere Formveränderungen erleiden als die gegossenen, werden wir uns unter diesen wiederum die günstigsten aussuchen. Nach meinen Versuchen würden sie der Reihenfolge nach folgende sein:

1. Harvard	1	6. S. S. W. green	1,3
2. Standart	1,1	7. Taggart	1,4
3. Kerr	1,2	8. Herbst	2,6
4. S. S. W. black	1,2	9. Zimmermann	2,7
5. Caulk	1,3	10. Mühlrath	3,0

Die Zahlen hinter den Wachssorten geben das Verhältnis der Abweichung an. Wir sehen daraus, daß, während die Wachse von 1—7 verhältnismäßig gleiche Formveränderungen erleiden, dies bei 8. 9. 10 in ganz erheblich höherem Maße der Fall ist.

Es sei mir gestattet, Herrn Professor Dr. Falck für die liebenswürdige Überlassung des Themas, Übernahme des Referates, sowie Durchsicht der Arbeit ergebenst zu danken.

Literatur.

Elander Karl: Das Gießen von Goldeinlagen.
Klughart A.: Zahnärztliche Materialkunde.
Öhrlein A.: Leitfaden der zahnärztlichen Gußtechnik.
Schoenbeck F.: Materialkunde der zahnärztlichen Technik.
Smreker Ernst: Handbuch der Porzellanfüllungen und Goldeinlagen. II. Teil Goldeinlagen.
Walkhoff Otto: Vierteljahrschr. f. Zahnheilk. 1922.
Weikart Paul: Praktikum der zahnärztlichen Materialkunde.

Lebenslauf.

Geboren wurde ich, Theo Besier, am 13. Dezember 1898 zu Rom (Italien), als Sohn des 1907 in New-York verstorbenen Ingenieurs Emil Besier.

Ich besuchte vom Jahre 1905 bis 1910 die École Moyenne zu Brüssel; anschließend besuchte ich in Wiesbaden das Reformrealgymnasium von Quinta bis Untersekunda und die Oberrealschule von Obersekunda bis Oberprima.

Vom 28. Mai 1918 bis 15. Januar 1919 stand ich beim Heere.

Vom 12. Mai bis 15. Juli 1919 war ich hier beim Gebirgsjäger-Bataillon beim Nachrichtendienst als Freiwilliger.

Vom S. S. 1919 bis einschließlich S. S. 1923 studierte ich an der Technischen Hochschule zu München als Elektroingenieur.

Die Diplom-Hauptprüfung an der Technischen Hochschule zu München vollendete ich am 31. Oktober 1923.

Vom 18. Januar 1924 bis 24. April 1924 war ich in den Elektrotechnischen Werkstätten Josef Feldl A.-G. in München als Ingenieur aushilfsweise tätig. Nachdem ich weiterhin keine Anstellung finden konnte, eröffnete ich im Oktober 1924 ein Ingenieurbüro, das ich bis zum Beginn meines Zahnmedizinischen Studiums betrieb.

Das Studium der Zahnheilkunde begann ich im S. S. 1927 bis 31. Juli 1929 an der Universität München. Das Staatsexamen bestand ich am 4. April 1930.

Vom 1. November 1929 bis 1. April 1930 war ich Hilfsassistent an der technischen Abteilung des Zahnärztlichen Instituts tätig, wo ich seit 1. Mai 1930 wiederum angestellt bin.